

基于 Simulink 的 WiMAX 物理层性能仿真

余亮, 张正炳

(长江大学电子信息学院, 荆州 434023)

摘要: 针对 WiMAX 物理层基带仿真模型未采用 SUI 信道的问题, 在理想同步情况下, 综合考虑影响系统性能的各种因素, 包括 SUI 信道、循环前缀(CP)长度、RS+CC 编码和信道估计, 运用 Simulink 对其进行评估。仿真结果表明, 采用自适应调制编码或改变 CP 长度能平衡 BER 和数据速率。

关键词: 微波存取全球互通; 物理层仿真; SUI 信道

Performance Simulation of WiMAX PHY-layer Based on Simulink

YU Liang, ZHANG Zheng-bing

(School of Electronics & Information, Yangtze University, Jingzhou 434023)

【Abstract】The baseband simulation model of WiMAX PHY-Layer does not take SUI channel into consideration. Aiming at this problem and under the conditions of perfect synchronization, this paper considers the factors effects the system performance synthetically, including SUI channel, the length of Cyclic Prefix(CP), RS+CC encoding, channel estimation, and evaluates them based on Simulink. Simulation results show that by changing the length of CP and using Adaptive Modulation and Coding(AMC), the balance between BER and data rate can be kept.

【Key words】 World interoperability for Microwave Access(WiMAX); PHY-layer simulation; SUI channel

1 概述

微波存取全球互通(World interoperability for Microwave Access, WiMAX)是基于 IEEE 802.16 协议的无线城域网技术, 它能在点对多点(Point to Multipoint, PMP)模式和网孔模式下提供视距(Line Of Sight, LOS)和非视距(Non Line Of Sight, NLOS)的高数据吞吐量服务。目前其主要版本为 IEEE 802.16d 和 IEEE 802.16e。前者主要面向固定应用, 称为固定 WiMAX, 后者在前者的基础上增加了移动性支持, 称为移动 WiMAX。在无线通信系统中, 信道是进行系统仿真的要素之一。必须使用能正确反映物理信道特性的信道模型, 以保证仿真结果的正确性。目前, 基于 IEEE 802.16d 的 WiMAX 物理层仿真采用 AGWN 信道^[1-2], 该信道不符合 IEEE802.16d 协议要求, 无法体现信道经历的多径效应和多普勒频移, 很难对 WiMAX 性能进行切实分析。

2 WiMAX 基带仿真模型

基于 802.16/WiMAX OFDM PHY 的结构分为基带和 RF 射频部分^[1]。本文仅关注基带仿真, 其框图如图 1 所示。其中, 信道编码由 3 个部分组成: 随机化, FEC(RS+CC), 交织。OFDM 调制器由星座映射、保护子载波、导频、前导码插入、IFFT 模块和加循环前缀(Cyclic Prefix, CP)、P/S 模块构成。无线信道由修正的 SUI(Stanford University Interim)信道模型^[3]与白噪声叠加构成。SUI 信道是时变多径信道, 体现了信道的多径效应和多普勒频移。加性高斯白噪声的功率谱为平坦谱, 反映单径信号经历的白噪声干扰。将它们相结合构成无线传输信道, 从而反映无线信道特征。接收端的主要功能是 OFDM 解调、信道估计与信道解码。信道估计的一般方法包括 LS(Linear Square)估计算法和 MMSE(Minimum Mean-Squared Error)算法。LS 估计算法较简单, 与 MMSE 算

法相比, 在相同 MSE(Mean-Square-Error)条件下, MMSE 算法在 SNR 值上有 10 dB~15 dB 的提升, 但运算复杂度较高。因此, 本仿真系统采用 LS 估计算法, 重点评估了前导码与导频进行频域 LS 信道估计和不同插值算法下系统的性能。主要考虑线性插值、高斯插值、三次样条插值^[4]。

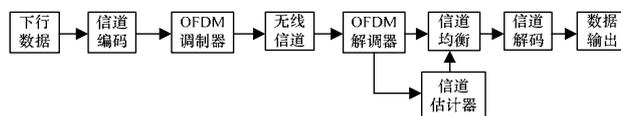


图 1 WiMAX 基带仿真框图

3 WiMAX 基带仿真模型的 Simulink 实现

3.1 发送端模型

按图 1 建立基带仿真模型, 运用 Simulink 建立相应模块, 如图 2 所示^[5]。

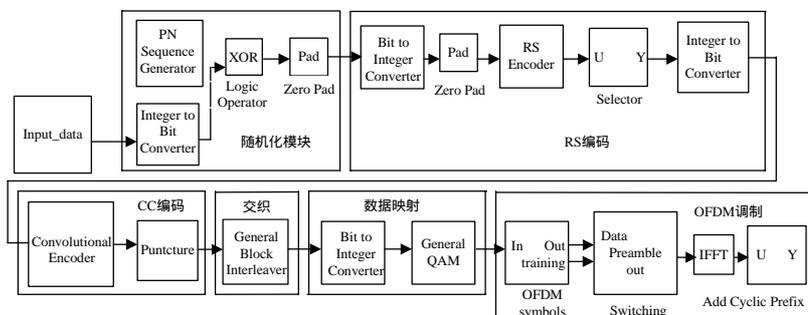


图 2 基于 WiMAX 的 Simulink 发送端模型

基金项目: 湖北省高等学校优秀中青年科技创新团队计划基金资助项目(鄂教科 2004-7-4)

作者简介: 余亮(1986-), 男, 硕士研究生, 主研方向: WiMAX 技术; 张正炳, 教授

收稿日期: 2008-06-10 **E-mail:** yuliang86@126.com

在图 2 中, OFDM 调制模块中的 OFDM symbols 模块应按 OFDM 的频域描述^[5]将其中的 8 个导频插入、56 个保护子载波和映射后的 192 个数据组成一个 OFDM 符号,并根据帧格式的要求产生前导码。WiMAX 下行链路中的前导码由 2 个 OFDM 符号组成,其功能较多,包括帧同步、载波同步、符号同步、信道估计等。系统假理想同步,将前导码用于准静态信道中的信道估计,并将其性能与导频做比较。Switching 模块用于控制前导码与一般 OFDM 符号的通过,当一个帧开始时,发送前导码并在接收端将其保持一个帧周期,以便以后传输 OFDM 符号进行频域均衡。

3.2 WiMAX 接收端模型

按图 1 建立基带仿真模型接收端的模块,用 Simulink 建立如图 3 所示的模块接收端模型。将其与图 1 进行比较,图 3 中的信道估计模块(如图 4 所示)对应图 1 中的 OFDM 解调器和信道估计器。图 4 中 Channel estimation 模块的 3 种插值方法由 Matlab 函数完成。

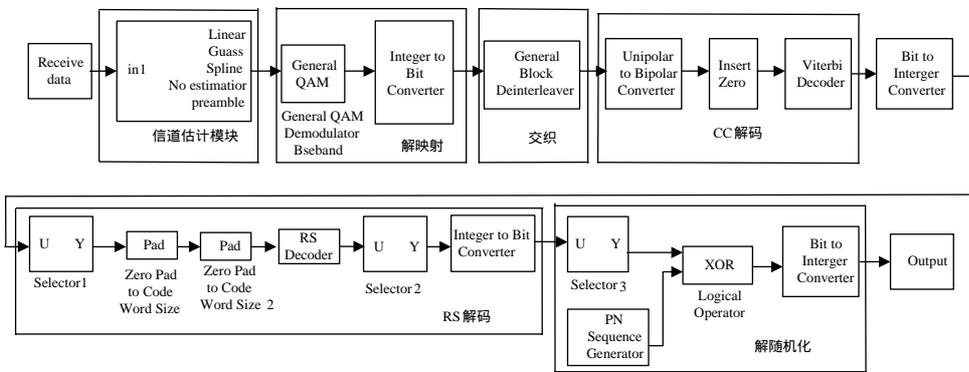


图 3 基于 WiMAX 的 Simulink 接收端模型

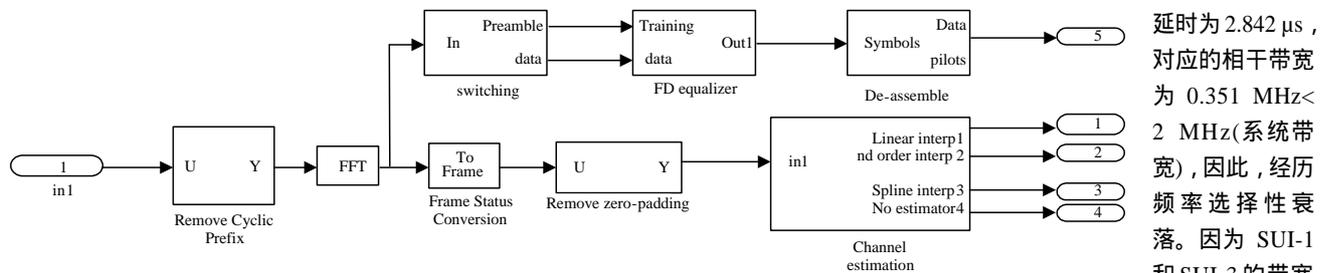


图 4 信道估计模块

4 仿真结果与分析

仿真前应先初始化各个参数,包括 OFDM 符号数、CP 长度、调制方式、编码速率、信噪比、采用何种 SUI 信道等。参数的选择可以参照文献[5]的要求对发送端和接收端的 Simulink 模块进行配置。在实现 SUI 信道的过程中,其产生的抽头随机增益过程 $a(t)$ 的默认采样周期通常是秒级,而系统波形级仿真所需的仿真周期通常是微秒级,远小于默认采样周期。因此,必须将原来产生的抽头系数进行内插。对于 IEEE 802.16d 这类固定(或游牧)宽带无线通信系统,可以采用准静态进行性能仿真,即假设在一次突发数据帧内信道特性不发生改变^[6]。此时只要将抽头系数内插到采样周期(帧周期,通常是毫秒级)即可,以减少内插难度。部分程序可参考文献[3],需要将观察频率改成帧周期。

4.1 不同 CP 长度对系统性能的影响

参数配置如下:带宽 $BW=2$ MHz,循环前缀长度分别取 1/16, 1/8, 调制方式为 QPSK-1/2,帧周期 $T_{frame}=2.5$ ms,采

用 LS 估计。

由图 5 可知,在 3 种不同类型的信道下,当 CP 增加时,各信道的性能曲线降低,即可靠性提高,但其数据传输速率下降。

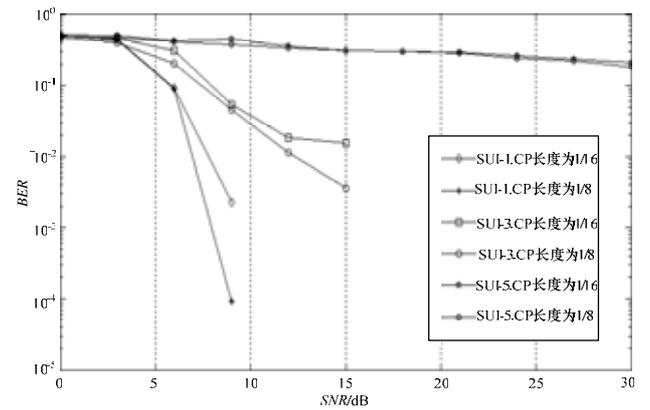


图 5 不同 SUI 信道下、不同 CP 长度对应的系统性能

$$R = N_{data} \times Q \times M / T_{s_ofdm} \quad (1)$$

其中, N_{data} 为用于承载数据的子载波; Q 为总的信道编码速率; M 为每个符号对应的比特数; T_{s_ofdm} 为子载波上每个 OFDM 符号的周期, $T_{s_ofdm} = T_u \times (1 + \text{CP 长度})$ 。在相同调制编码方式下,当 T_u 一定时,若 CP 长度增加,则 R 下降。因此,可以通过选择适当的 CP 长度来平衡 BER 和数据速率。在 SUI-5 下,性能曲线较差的原因如下:其均方

延时为 $2.842 \mu\text{s}$, 对应的相干带宽为 $0.351 \text{ MHz} < 2 \text{ MHz}$ (系统带宽),因此,经历频率选择性衰落。因为 SUI-1 和 SUI-3 的带宽均小于系统带

宽,所以经历平坦选择性衰落,性能较高。

4.2 调制方式和编码速率对系统性能的影响

由图 6 可知,低速率编码和低阶映射方式性能较好,但其对应的数据传输速率较低(由式(1)可知, Q 与 M 越大, R 越大)。因此,在实际中常采用 AMC 实现 BER 和数据速率之间的平衡。

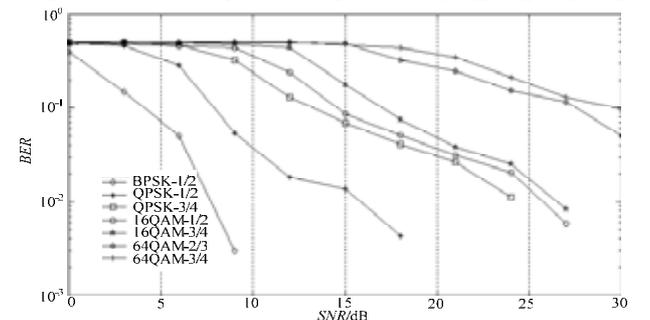


图 6 CP 长度为 1/16、SUI-3 信道下不同调制编码模式的系统性能

(下转第 104 页)